

**K.G. MKRTCHYAN, M.A. NALBANDYAN**

## **SECURITY IN CLOUD TECHNOLOGIES**

Cloud technologies, their features, structure, software and future development have been studied. The main problem is securing the system, the user data privacy, availability, etc. An optimal solution has been proposed for the system information security.

**Keywords:** cloud, cloud technology, encryption, security.

УДК 621.373.826

**А.А. СААКЯН**

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ В СИСТЕМАХ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ**

Проведен анализ целесообразности применения волоконных лазеров в системах оптической связи. Обоснована необходимость детального электродинамического моделирования волоконных лазеров с зеркалами из волоконных брэгговских решеток с целью нахождения условий реализации одномодового режима работы лазера.

**Ключевые слова:** лазеры, волоконные лазеры, РОС-лазеры, РБО-лазеры, брэгговская решетка, волоконно-оптическая связь.

Лазеры, или оптические квантовые генераторы являются уникальными источниками когерентного излучения. Они нашли применение в военной технике, промышленности, медицине, системах навигации, связи и локации, химии, быту и т.д.

В современных системах волоконно-оптической связи широко используются полупроводниковые лазеры. Хотя они полностью обеспечивают потребности современной волоконно-оптической связи, однако их изготовление и стыковка с оптическим волокном представляют собой дорогостоящую процедуру.

В последние годы стремительное развитие получают волоконные лазеры, являющиеся сравнительно новыми устройствами квантовой электроники, которые создались на стыке лазерной физики и волоконной оптики. Эти лазеры обладают высоким качеством пучка, высокой эффективностью (~70%) и стабильностью генерации, высокой температурной и вибрационной стабильностью, надежностью и простотой эксплуатации, малыми размерами и весом. В волоконных лазерах не требуется юстировка зеркал, они являются перестраиваемыми и могут иметь многоволновую генерацию. В таких лазерах из-за волно-

водного характера распространения оптической накачки и сигнала исключаются потери на излучение через боковые поверхности активной среды [1]. Перечисленные преимущества и возможность несложной процедуры стыковки с магистральным волокном делают их реальными кандидатами в применении в системах оптической связи.

Как и все лазеры, волоконные лазеры состоят из трех основных частей:

- 1) активной (рабочей) среды, которая представляет собой оптическое волокно, легированное редкоземельным элементом (в системах телекоммуникации используются легированные атомами  $\text{Er}^{3+}$ , которые обеспечивают усиление света в диапазоне 1,5 мкм);
- 2) зеркал, роль которых выполняют волоконно-оптические брэгговские решетки (периодические модуляции диэлектрической проницаемости волокна);
- 3) системы оптической накачки: ввод в легированное волокно оптической энергии с целью возбуждения атомов редкоземельного элемента.

В волоконных лазерах малой и средней мощностей в качестве зеркал используются брэгговские решетки. Волоконная брэгговская решетка (ВБР) – это отрезок волокна с периодическим или аperiodическим возмущением показателя преломления сердцевинны оптоволокна (рис. 1).

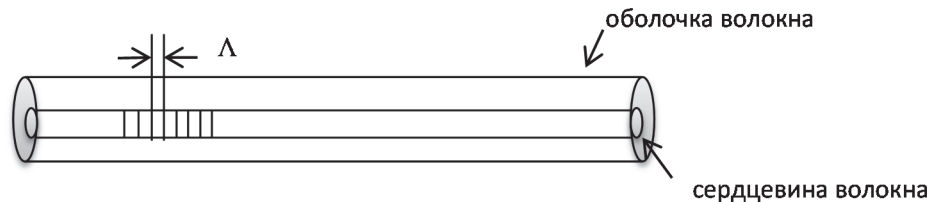


Рис.1. Схематический вид волоконной брэгговской решетки:  $\Lambda$  – период модуляции показателя преломления решетки

Свет, распространяясь вдоль волокна, встречая периодическое изменение показателя преломления, частично отражается от каждого возмущения, и в случае большого числа возмущений показателя преломления для определенной длины волны света наблюдается полное отражение. Последнее имеет место при выполнении условия

$$\lambda_0 = 2n\Lambda,$$

где  $\lambda_0$  - длина волны света в вакууме;  $n$  – показатель преломления света в волокне;  $\Lambda$  – период модуляции решетки. Как правило, брэгговские решетки

имеют длину в несколько миллиметров или сантиметров. Период модуляции составляет сотни нанометров.

В волоконных лазерах брэгговские решетки могут быть записаны как непосредственно в активном волокне, так и по его краям [1]. В них генерация света, определяемая величиной усиления и оптических потерь излучения в активном волокне, имеет место на длине волны  $\lambda_0$ . Как и оптические волноводы, волоконные лазеры могут быть реализованы для работы в одномодовом и многомодовом режимах. Наилучшими параметрами выходного пучка света обладают одномодовые лазеры. Они востребованы в системах оптической связи, так как с их использованием возможна реализация частотного разделения каналов оптической связи. Как и в случае полупроводниковых лазеров, для реализации одномодового излучения волоконных лазеров исследуются лазеры с распределенной обратной связью (РОС-лазеры) и распределенными брэгговскими отражателями (РБО-лазеры). РОС-лазеры представляют собой активную брэгговскую решетку, т.е. решетку Брэгга в волокне, в которой наряду с модуляцией показателя преломления введены атомы редкоземельного элемента. Для получения одномодового режима РОС-лазера необходимо иметь в середине решетки сдвиг фазы модуляции определенной величины ( $180^\circ$ ) [2]. Получение такого сдвига фазы и малые длины брэгговской решетки создают трудности в реализации и сильно ограничивают мощности излучения таких лазеров. По простоте изготовления и получения необходимых мощностей излучения имеют преимущества РБО-лазеры (рис.2).



Рис. 2. Схематический вид РБО-лазера. Зеркала – волоконные брэгговские решетки и легированное редкоземельным элементом волокно между зеркалами (активное волокно)

РБО-лазеры позволяют получать одномодовое излучение, но в экспериментах выявилась неустойчивость излучения по частоте [3]. Предварительные теоретические результаты по получению устойчивого одномодового излучения получены в [4]. Выявлено влияние расстояния между ВБР-зеркалами на модовую характеристику излучения лазера. С целью дальнейшего изучения возможностей реализации волоконно-оптических одномодовых излуча-

лей было проведено численное моделирование взаимодействия электромагнитной волны с лазерно-активной средой. Для моделирования использовался метод единого выражения (МЕВ) [5-7]. МЕВ позволяет проводить компьютерное моделирование взаимодействия электромагнитной волны с многослойными и модулированными оптическими структурами, включая структуры с усилением и поглощением электромагнитной волны.

Выбором коэффициента усиления и длиной активной среды, а также параметрами волоконных брэгговских решеток РБО-лазера было получено одномодовое излучение РБО-лазерной структуры на длинах волн, используемых в качестве несущих в системах современной оптической связи. Полученное с помощью МЕВ распределение электрической компоненты электромагнитной волны в РБО-лазерной структуре позволило объяснить наличие одной продольной моды при определенных расстояниях между ВБР-зеркалами.

На практике в зависимости от легирования различными редкоземельными элементами можно создать волоконные лазеры различной конфигурации с длинами волн излучения в широком спектральном диапазоне (0,9...2) мкм, что позволит реализовать волоконно-оптическую связь со сверхплотным частотным разделением каналов на новых длинах волн в окнах прозрачности волокна. Волоконные лазеры могут найти применение также в сверхдальней связи и протяженных сенсорах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Курков А.С., Дианов Е.М.** Непрерывные волоконные лазеры средней мощности// Квантовая электроника. – 2004. - Т. 34, No.10. - С. 881 - 900.
2. **Baghdasaryan H.V. and Knyazyan T.M.** Simulation of Amplifying Phase-Shifted Fiber Bragg Gratings by the Method of Single Expression// Optical and Quantum Electronics, Special Issue on Optical waveguide theory and numerical modelling. – 2003. - Vol. 35. - P. 493-506.
3. **Shi W.** Single-frequency fiber lasers using rare-earth-doped silica// SPIE Newsroom. – 2015. doi: 10.1117/2.1201506.005740
4. **Baghdasaryan H.V., Knyazyan T.M., Hovhannisyan T.T., Marciniak M.** Single-frequency radiation from DBR fiber laser: Numerical analysis by the method of single expression// Proceedings of 18th International Conference on Transparent Optical Networks ICTON 2016. - 2016. - Tu.C1.5. - P. 6.
5. **Baghdasaryan H.V.** Method of backward calculation, in Photonic Devices for Telecommunications: how to model and measure /G. Guekos Ed. - Springer-Verlag, 1999.

6. **Baghdasaryan H.V., Knyazyan T.M.** Problem of plane EM wave self-action in multilayer structure: An exact solution// Optical and Quantum Electronics. - 1999. - Vol. 31. - P. 1059-1072.
7. **Baghdasaryan H.V.** Basics of the Method of Single Expression: New Approach for Solving Boundary Problems in Classical Electrodynamics.- Yerevan: Chartaraget, 2013. – 164 p.

## **Հ.Ա. ՍԱՀԱԿՅԱՆ**

### **ԹԵԼԲԱՅԻՆ ԼԱԶԵՐՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՆ ՀԵՌԱՆԿԱՐՆԵՐԸ ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ԿԱՊԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ**

Վերլուծվել է օպտիկական կապի համակարգերում մանրաթելային լազերների կիրառման նպատակահարմարությունը: Հիմնավորվել է թելքային բրեգյան ցանցերով հայելիներով թելքային լազերների էլեկտրադինամիկական մանրակրկիտ մոդելավորումը՝ նպատակ ունենալով գտնել լազերի աշխատանքի միամոդ ռեժիմի իրականացման պայմանները:

**Առանցքային բառեր.** լազերներ, մանրաթելային լազերներ, ԲՀԿ լազերներ, ԲԲԱ լազերներ, բրեգյան ցանց, մանրաթելաօպտիկական կապ:

## **H.A. SAHAKYAN**

### **APPLICATION PROSPECTS OF FIBER LASERS IN THE SYSTEMS OF OPTIC COMMUNICATION**

An analysis of expedience of fiber lasers' application in the systems of optical communication is carried out. The necessity of detailed electrodynamic modelling of fiber lasers with mirrors from fiber Bragg gratings is substantiated, aimed at finding out the realization conditions of the laser's single-mode operation.

**Keywords:** lasers, fiber lasers, DFB lasers, DBR lasers, Bragg grating, fiber-optics communication.